

APLICAÇÃO DO VÁCUO EM FUSÃO DE VIDRO

Luiz Carlos Barbosa,
Cristóvão R. L. Farias,
R. Srivastava

Unicamp, Instituto de Física, Campinas
13.100 - São Paulo, Brasil.

Inclusões gasosas sob a forma de bolhas afetam a transmissão de luz, a aparência e a resistência mecânica do material. A utilização do vácuo em um forno de indução para a fabricação do vidro, mostrou ser eficaz na eliminação destas inclusões.

Fusão, vidro, vácuo.

1. Introdução

Basicamente, a manufatura do vidro é um processo de conversão térmica a altas temperaturas de matéria-prima em um líquido homogêneo capaz de proporcionar um produto acabado livre de defeitos. Associado a este processo existem problemas que são de importância do ponto de vista científico e tecnológico e que contribuem para a complexidade da fabricação destes materiais. Volatização, reações químicas, dissolução, imiscibilidade, separação de fases, nucleação e crescimento de cristais, flutuações e bolhas são alguns exemplos típicos de problemas que aparecem na manufatura do vidro.

Inclusões de gases (bolhas) afetam a aparência, a transmissão de luz e a resistência mecânica do material. As principais fontes destas bolhas são: 1) os gases que são revolvidos na fusão; 2) ar enclausurado entre as partículas da matéria-prima; 3) gases provenientes dos poros do cadinho e 4) gases

dissolvidos. A análise química destas bolhas indicam que são mais comumente encontrados o O_2 , CO_2 , N_2 e H_2O . As bolhas que tem um maior diâmetro sobem até a superfície e as pequenas dissolvem-se no líquido. A taxa de ascensão (1) é dada por:

$$\frac{dH}{dT} = \frac{1}{3\eta} \rho g R_B^3 \quad (1)$$

Esta equação define (para fluxo laminar) a velocidade de ascensão ou queda de pequenas esferas de um fluido em outro; R_B é o raio da bolha, g é a aceleração gravitacional, ρ a densidade e η a viscosidade.

A pressão numa bolha de gás é igual a soma da pressão atmosférica (P_O), da sobrepressão devido à tensão superficial (σ) e igual à $4\sigma/R_B$ e a pressão hidrostática devida à coluna de líquido acima da bolha, ou ρhg .

Aplicando-se as condições de equilíbrio, têm-se:

$$P_{int} = P_{ext} \quad (2)$$

ou

$$\frac{\eta RT}{4/3\pi R_B^3} = P_O + \rho hg \quad (3)$$

rearranjando-se os termos, resulta:

$$R_B^3 + \frac{16\pi\sigma}{4\pi(P_O + \rho hg)} R_B^2 - \frac{3\eta RT}{16\pi(\rho_O + \rho hg)} = 0 \quad (4)$$

a extração das raízes (2) mostra um valor real e dois valores complexos, portanto:

$$R_B = \sqrt[3]{\frac{0.238\eta RT}{(\rho_O + \rho hg)}} \quad (5)$$

onde n é o número de moles, R é a constante dos gases, T a temperatura absoluta e P_O a pressão atmosférica.

A Equação (5) fornece dois dados de importância para o refino do material a ser fundido:

- 1) $R_B^3 \propto T$ ou seja, o raio da bolha é proporcional à temperatura.
- 2) $R_B^3 \propto \frac{1}{P_O}$, o raio da bolha é inversamente proporcional à pressão da atmosfera.

Como (Eq.1) a velocidade de ascensão de uma bolha varia com o quadrado do raio, a utilização do vácuo diminui o valor de P_0 e como consequência o raio da bolha fica aumentado e portanto a velocidade de ascensão cresce exponencialmente (fig.1).

2. Procedimento Experimental

Foi preparada a fornada, para resultar em 300 grs de vidro com 50% SiO_2 , 20% Na_2O e 30% B_2O_3 . O quartzo nacional foi empregado como matéria-prima para o SiO_2 e o Na_2CO_3 e H_3BO_3 , de grau analítico, para os outros dois componentes. Após uma pesagem precisa, houve a mistura dos pós para homogeneização. Uma pequena porção foi então colocada no cadinho dentro da espira de indução do forno. Foi feito um pré-aquecimento, utilizando-se de um suscepter de grafite. Após a fusão inicial, o grafite foi retirado permitindo que a potência do forno dissipasse diretamente no vidro que já era um líquido viscoso. Isto provocou uma rápida elevação da temperatura e novas porções puderam então ser adicionadas, intercaladas por intervalos de tempo até o preenchimento de aproximadamente 3/4 do volume do cadinho. A fusão e o refino foram então feitos à temperatura de 1200°C .

Após a expulsão (~2 horas) para a atmosfera dos gases (CO_2 , H_2O) resultantes do processo, a câmara de fusão (fig.2) foi colocada e o evacuação, controlado por uma válvula de entrada de ar e o manômetro, foi iniciado e mantido por uma hora, quando observou-se não haver mais nenhuma bolha visível. A partir daí, o vidro foi despejado em um molde de grafite e colocado num forno do tipo mufla para tratamento térmico a 550°C , por 10 minutos e resfriamento a taxa normal de dissipação do forno desligado.

3. Resultados

A utilização do vácuo para o refino do vidro mostrou-se como sendo talvez o mais eficiente dos métodos que hoje são empregados para tal finalidade. Agentes de refino de comprovada eficácia são hoje contestados por várias razões. O arsê

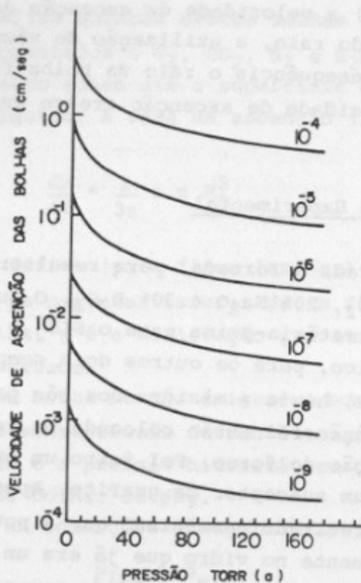


Figura 1. Velocidade de ascensão de uma bolha no interior do líquido em função da pressão e número de moles do gás.

nio e o antimônio são conhecidos por serem tóxicos e corrosivos. Os sulfatos deixam resíduos de enxofre nos vidros borosilicatos e são fontes de poluição do ar. O aumento da temperatura para o refino embora eficiente, implica em maiores quantidades de energia e custos aumentados.

O borbulhamento de gases, no estágio de refino tem a vantagem de eliminar bolhas e ao mesmo tempo homogeneizar, mas seu emprego fica limitado à utilização de gases secos e purificados e que não introduzam contaminações extras.

Um vácuo de 25 Torr fez com que as bolhas estacionadas no seio do líquido, aumentassem de diâmetro e subissem rapidamente à superfície para desintegrarem. Com o aumento gradual até 5 Torr, provocou-se fortes agitações no vidro com centenas de bolhas ascendendo-se velozmente à tona.

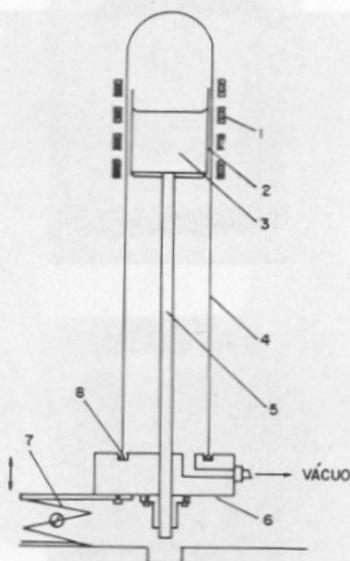
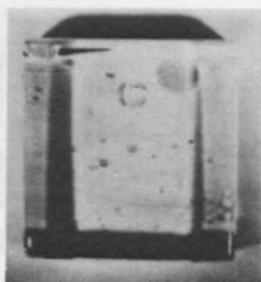


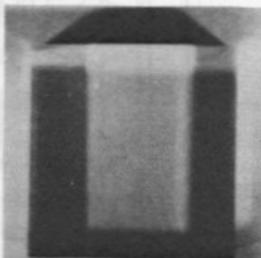
Figura 2. Câmara de fusão.

1. espira de indução
2. cadinho
3. vidro
4. tubo fechado
5. suporte do cadinho
6. suporte do tubo
7. base
8. anel de vedação

A figura (3a e b) mostram as diferenças entre dois blocos de vidro. O bloco da figura (3a) não foi processado no vácuo, mas borbulhado com O_2 durante 5 horas, enquanto que o bloco da figura (3b) sofreu processamento com vácuo. Pode-se notar que o vidro que foi feito no vácuo não apresenta nenhuma bolha nem quando observado pelo microscópio ou mesmo pela passagem de um feixe de luz de um laser de hélio-neônio.



(a)



(b)

Figura 3. Bloco de vidro contendo bolhas (3a) e bloco de vidro fabricado no vácuo (3b).

4. Discussão

A preparação de vidros compostos, objetivando a sua aplicação em fibras ópticas pelo método de fusão por aquecimento indutivo apresenta problemas relacionados com a distribuição da temperatura no interior do vidro fundido. A figura 4 mostra que o centro do cadinho é mais frio que a parte periférica. Isto dificulta o refino e a homogeneização.

Embora o primeiro problema seja certamente resolvido pela aplicação do vácuo resta ainda a comprovação dos efeitos provocados na homogeneização.

5. Conclusões

Mostrou-se a aplicação do aquecimento indutivo na manu

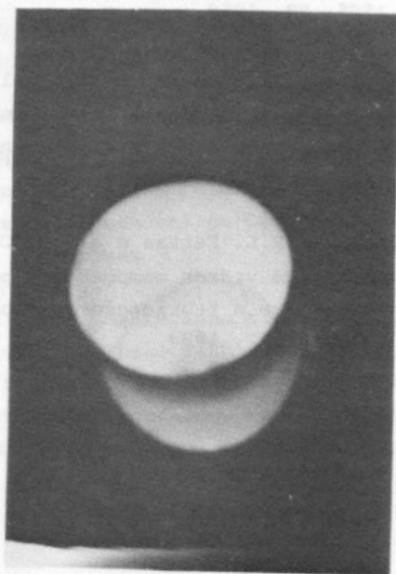


Figura 4. Região circular de baixa temperatura (zona escura) situada no centro do cadinho.

fatura de vidros borosilicatos para aplicações em fibras ópticas, o emprego do vácuo como um instrumento eficaz na remoção de bolhas e também a base teórica que motivou esta aplicação.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Telebrás pelo apoio financeiro, aos Drs. J.M.L. Costa e F.M. Smolka pelas sugestões e discussões e ao técnico José Brêsil pela montagem e confecção das peças do sistema de vácuo.

6. Referências

- (1) P.S. Epstein e M.S. Plessey, "On the stability of gas bubbles in liquid gas solutions", Journ. Chem. Phys.

18, 11, 1505, 09, 1950.

- (2) M. Abramovitz , "Elementary analytical method, algebraic equations", in Handbook of mathematical functions". Ed. M. Abramovitz e I.A. Stegun, Dover Publications, Inc. NY-NY, 17, 1972.
- (3) L.C. Barbosa, C.R.L. Farias e J.M.L. Costa, "Sistema de produção de vidros compostos a partir do quartzo brasileiro para a fabricação de fibras ópticas", Revista Telebrás, 2, 1984.